

PAT-NO: JP403196624A  
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 03196624 A  
TITLE: DRY ETCHING  
PUBN-DATE: August 28, 1991

INVENTOR-INFORMATION:  
NAME  
KADOMURA, SHINGO

ASSIGNEE-INFORMATION:  
NAME COUNTRY  
SONY CORP N/A

APPL-NO: JP01337504  
APPL-DATE: December 26, 1989

INT-CL (IPC): H01L021/302, H01L027/04 , H01L027/108

US-CL-CURRENT: 216/46, 216/79

ABSTRACT:

PURPOSE: To suppress the excessive formation of the sidewall protective film at a trench wide in pattern width and to form all the trenches with high anisotropy and the same depth by using the mixture gas of fluorocarbon gas, not containing hydrogen atoms, and HBr gas.

CONSTITUTION: The mixture gas of fluorocarbon gas, not containing hydrogen atoms, and HBr gas is used as etching gas. Out of these, though the fluorocarbon gas not containing hydrogen atoms in the gas which contributes to a measure of accumulation, it can generate CF<SB>x</SB><SP>+</SP> to become the etching species of an silicon oxide. Hereby, mainly in the trench wide in pattern width, the excessive formation of a sidewall protective film is suppressed effectively, and in silicon trench etching, regardless of the magnitude of pattern width, favorable anisotropic shape can be attained, and in addition the material easy in patterning can be used as a mask.

COPYRIGHT: (C) 1991, JPO&Japio

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平3-196624

⑤ Int. Cl.<sup>3</sup>

識別記号

庁内整理番号

④ 公開 平成3年(1991)8月28日

H 01 L 21/302  
27/04  
27/108

F 8122-5F  
C 7514-5F

8624-5F H 01 L 27/10 3 2 5 M

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全7頁)

⑬ 発明の名称 ドライエッチング方法

⑭ 特 願 平1-337504

⑮ 出 願 平1(1989)12月26日

⑯ 発 明 者 門 村 新 吾 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

⑰ 出 願 人 ソニー株式会社 東京都品川区北品川6丁目7番35号

⑱ 代 理 人 弁理士 小 池 晃 外2名

明細書

(産業上の利用分野)

本発明は半導体装置等の製造に適用されるドライエッチング方法に関し、特に単結晶シリコン層にトレンチを形成するための異方性エッチングを行う方法に関する。

1. 発明の名称

ドライエッチング方法

2. 特許請求の範囲

(1) 単結晶シリコンのエッチングによりパターン幅の異なる複数のトレンチを形成するドライエッチング方法において、前記エッチングを水素原子を含まないフルオロカーボン系ガスとHBrガスを含む混合ガスにより行うことを特徴とするドライエッチング方法。

(2) 単結晶シリコンのエッチングによりパターン幅の異なる複数のトレンチを形成するドライエッチング方法において、被エッチング領域に予め酸素イオンを導入しておき、有機系側壁保護膜を形成し得るエッチングガスによりエッチングを行うことを特徴とするドライエッチング方法。

3. 発明の詳細な説明

(発明の概要)

本発明は、単結晶シリコンのエッチングによりパターン幅の異なる複数のトレンチを形成するドライエッチング方法において、エッチングガスとして水素原子を含まないフルオロカーボン系ガスとHBrガスとの混合ガスを使用することにより、主としてパターン幅の広いトレンチにおける側壁保護膜の過剰な形成を抑制し、全てのトレンチを高い異方性をもって同じ深さに形成しようとするものである。

さらに本発明は、被エッチング領域に予め酸素イオンを導入しておき、有機系側壁保護膜を形成し得るエッチングガスによりエッチングを行うことにより、主としてパターン幅の広いトレンチに

おける有機系側壁保護膜の分解除去を促進し、全てのトレンチを高い異方性をもって同じ深さに形成しようとするものである。

(従来の技術)

VLSI, ULSI等にみられるように、近年の半導体装置における集積度の向上には目覚ましいものがある。そのデザイン・ルールは4MビットDRAMではサブミクロン・レベルに微細化され、さらにはクォーターミクロン・レベルの微細加工も議論されるようになってきている。かかる半導体装置における各種パターンのアスペクト比は急速に増大する傾向にある。高アスペクト比パターンの典型例としては、微細素子分離やセル・キャパシタ・エリアの確保を目的として形成されるシリコン・トレンチがある。

ところで、このような高アスペクト比パターンのエッチング特性には、従来得られている特性の延長としてのみでは論じきれないものも現れてきている。エッチング断面形状の変化もそのひとつ

従来提案されている最も代表的なエッチングガス系としては、 $Cl_2$ と堆積性ガスとの混合ガス系がある。このガス系は、塩素系活性種による単結晶シリコンのエッチングと炭素系ポリマーの堆積による側壁保護効果を意図したものである。ここで上記堆積性ガスとしては、炭素の供給源となることを目的とするために水素原子を含有し、かつF/C比(分子中のフッ素原子数と炭素原子数の比)の低いガスが使用されることが多く、 $CH_4$ ,  $C_2H_4$ 等が通常選ばれている。

しかし、上述の混合ガス系では、堆積の影響の他、水素による塩素系活性種の補足が生じるために、エッチング速度の低下や単結晶シリコンとマスク材料との間の選択比の低下が生じ易いという欠点がある。そこで、このような欠点のある程度解消したガス系として、(a)  $SiCl_4$ と $N_2$ の混合ガス系、(b)  $C_2Cl_2F_2$ (フロン113)と $SF_6$ の混合ガス系、(c)  $Cl_2$ と $N_2$ の混合ガス系等も提案されている。

さらに、これら塩素系のエッチングガスを使用

である。高アスペクト比パターンのエッチングでは、マスク・パターンやエッチング・パラメータ等によって断面形状が複雑に変化し易く、アンダーカットやボウイング(bowing)と呼ばれる側壁部の膨らみ現象等が現れる。このように異方性形状からはずれた断面形状が発生すると、後工程におけるトレンチの埋め込みや容量の制御等が困難となる。

このような事情から、シリコン・トレンチ・エッチングにおいて異方性形状を達成するための技術が種々検討されている。反応機構の観点からは、イオン支援反応によりエッチングの進行する条件が主として採用されるようになってきている。ここで使用されるエッチングガスとしては、①塩素イオンや臭素イオン等のような質量の大きいイオン、②フッ素ラジカル等のような入射イオンによって助起されるとシリコンとの反応確率が高くなるラジカル、および③炭素系やシリコン系等の側壁保護膜を形成し得るラジカル、の3種類の化学種を生成し得るものが望ましいとされている。

するエッチングでは酸化シリコンをマスクとする場合が多いが、本発明者が先に特願平1-001446号明細書に開示したシリコン系物質のドライエッチング方法によれば、フッ素を含有するハロゲン化炭素と塩素との混合ガスをエッチングガスとして使用することにより、フォトレジスト等をマスクとしても長時間のエッチングにおいて高い選択比が維持され、かつ側壁保護膜の堆積に伴うエッチング速度の低下を抑制することができるようになる。

(発明が解決しようとする課題)

このように、側壁保護膜の堆積を伴うシリコン・トレンチ・エッチング技術は既に知られたところであるが、特に素子分離を目的とするシリコン・トレンチを形成するにあたり、新たな問題が生じてきた。これを第3図(A)、第3図(B)および第4図を参照しながら説明する。

一般に素子分離を目的とするシリコン・トレンチは、そのパターン幅がセル構造等に依存して一

定していないため、半導体装置の製造工程においては1回のエッチングでパターン幅の異なる複数のトレンチを同時に形成することが必要となる。たとえば、第3図(A)に示すように、単結晶シリコン基板(11)上にパターンニングによりパターン幅の広い第1の開口部(12a)とパターン幅の狭い第2の開口部(12b)とが形成された酸化シリコン層(12)を形成する。

ところが、次に上記酸化シリコン層(12)をマスクとしてエッチングを行った場合、上記第1の開口部(12a)に対応して開口される第1のトレンチ(13a)と第2の開口部(12b)に対応して開口される第2のトレンチ(13b)の断面形状を共に理想的な異方形状とすることは極めて困難であり、通常は被エッチング面積の差にもとづき、両トレンチの断面形状に差が生ずる。すなわち、上記エッチングが十分な側壁保護膜を堆積し得る条件で行われた場合には、パターン幅の広い第1のトレンチ(13a)において相対的に多くのエッチング種が入射するために第2のトレンチ(13b)内よりも側

壁保護膜(14)の形成量が多くなる。その結果、スパッタリング効率が変化して第3図(B)に示すように第1のトレンチ(13a)の断面形状がテーパ一状となったり、またエッチング深さが増大したりする。

一方、上述のような形状異常を防止しようとして、第1のトレンチ(13a)内における堆積を抑制するような条件を採用すると、パターン幅の狭い第2のトレンチ(13b)内においては側壁保護膜(14)の形成量がますます少なくなる上にトレンチ内におけるイオン散乱が激しくなる結果、第4図に示すようなボウイング(15)が発生する。

このような問題は、前述の代表的な混合ガス系(a)～(c)によっても解決することができない。すなわち、混合ガス系(a)および(b)では主として気相中における反応生成物の堆積により、また混合ガス系(c)では主としてエッチングガスとシリコンとの反応による副生成物の堆積によりそれぞれ側壁保護膜が形成されるため、被エッチング面積の影響を免れないからである。

そこで本発明は、異なるパターン幅を有するトレンチを同時にエッチングしても優れた異方形状が得られるドライエッチング方法を提供することを目的とする。

#### 〔課題を解決するための手段〕

本発明者は、パターン幅の相対的に広いトレンチにおける側壁保護膜の形成量を選択的に減少させることができれば上述の問題点を解決することができると考え、検討を行った結果、以下の事実を見出した。すなわち、①エッチングガスとして水素原子を含まないフルオロカーボン系ガスとHBrガスを含む混合ガスを使用すれば、パターン幅の広いトレンチにおける過剰な側壁保護膜の形成が抑制されること、および②被エッチング領域に予め酸素イオンを導入しておき、有機系側壁保護膜を形成し得るエッチングガスによりエッチングを行えば、パターン幅の広いトレンチにおける有機系側壁保護膜の分解除去が促進されること、である。

本発明は上述の知見にもとづいて提案されるものである。

すなわち、本発明の第1の発明にかかるドライエッチング方法は、単結晶シリコンのエッチングによりパターン幅の異なる複数のトレンチを形成するドライエッチング方法であって、前記エッチングを水素原子を含まないフルオロカーボン系ガスとHBrガスを含む混合ガスにより行うことを特徴とするものである。

さらに、本発明の第2の発明にかかるドライエッチング方法は、単結晶シリコンのエッチングによりパターン幅の異なる複数のトレンチを形成するドライエッチング方法であって、被エッチング領域に予め酸素イオンを導入しておき、有機系側壁保護膜を形成し得るエッチングガスによりエッチングを行うことを特徴とするものである。

#### 〔作用〕

本発明のドライエッチング方法は、いずれもパターン幅の広いトレンチにおける側壁保護膜の過

斜な形成を抑制することにより、全てのトレンチを高い異方性をもって同じ深さに形成するものである。

まず、本発明の第1の発明では、エッチングガスとして水素原子を含まないフルオロカーボン系ガスとHBrガスを含む混合ガスが使用される。

このうち、水素原子を含まないフルオロカーボン系ガスは、自身もある程度の堆積に寄与するガスであるが、酸化シリコンのエッチング種となる $CF_3^+$ を気相中で生成することができるので、複雑な組成を有する側壁保護膜の一部をエッチング除去して該側壁保護膜の過剰な堆積を抑制することができる。また、上記 $CF_3^+$ は $Br^+$ 等のイオンの支援を受ければ直接シリコンをエッチングすることもできる。ここで、上記フルオロカーボン系ガスは水素原子を含まない点が肝要である。もし水素原子を含有していると水素原子により $F^+$ が補足されるので、 $CF_3^+$ が再結合の相手を失って過剰に堆積し易くなり、側壁保護膜の過剰な堆積を抑制するという本発明の目的に合致しないから

HBrと該レジスト材料との反応生成物が狭い領域内で効果的に付着して側壁保護膜を形成し得るからである。

一方、本発明の第2の発明においては、被エッチング領域に予め酸素イオンをイオン注入等の手段により導入しておき、有機系側壁保護膜を形成し得るエッチングガスによるエッチングが行われる。これは、一旦形成された有機系側壁保護膜を、被エッチング領域から発生する $O^+$ や $O_2^+$ により分解し $CO$ もしくは $CO_2$ の形で除去することにより、側壁保護膜の形成量を減じることを意図したものである。この場合、パターン幅の広いトレンチにおいてはより多くの $O^+$ や $O_2^+$ が発生するため、有機系側壁保護膜の分解除去も促進され、パターン幅の狭いトレンチと同一のエッチング特性によるエッチングが可能となる。ここで、酸素をエッチングガス中に混合せずに被エッチング領域に導入したのは、以下のような理由による。すなわち、エッチングガス中に酸素を混合すると、気相中における堆積性物質の生成が抑制されるた

である。

一方のHBrガスはシリコンの主エッチング種を生成するガスであるが、その反応性は概して低く、イオン照射面においてのみエッチング反応を進行させる。したがって、側壁保護膜の形成が少ない場合にも高い異方性形状を達成し得るものである。従来の塩素系ガスを用いるエッチングにおいても同様の効果は知られているが、本発明では塩素より質量の大きい臭素を使用しているので、その効果はさらに顕著である。

このように、第1の発明では側壁保護膜の過剰な堆積を抑制しながら異方性確保に有利なHBrガスによるエッチングを行うため、パターン幅の広いトレンチにおいても従来のような断面形状のテーパ化やエッチング深さの増大等の問題が起こらない。さらに、側壁保護膜の過剰な堆積を抑制しても、パターン幅の狭いトレンチにおいてボウイングが発生することもない。それは、上述のようなHBrの低反応性に加えて、特にエッチング・マスクとしてレジスト材料を使用した場合に、

めに、パターン幅の狭いトレンチにおいて有機系側壁保護膜が形成できなくなり、ボウイング等が発生するからである。これでは、パターン幅の広いトレンチにおいてのみ有機系側壁保護膜の生成量を選択的に制限するという本発明の目的に合致しない。

このように、第1および第2の発明のいずれによっても、パターン幅の広いトレンチにおける側壁保護膜の形成量は過剰となることなく適切に制御され、パターン幅に依存しない均一なシリコン・トレンチ・エッチングが可能となる。

なお、本発明のメリットを更に付け加えるならば、マスクとしてレジスト材料が使用できることが挙げられる。従来の一般的なシリコン・トレンチ・エッチングにおいては、エッチングガスに対する十分な耐性を確保するために酸化シリコンからなるマスクが使用されることが多いが、酸化シリコンのマスク・パターンを作成するためにはレジスト材料のパターニングが必要となるため、工程数が多くなる。しかし、本発明のエッチング

ガス系ではレジスト材料でも良好にマスクとしての機能を果たすので、マスク・パターンの作成に要する工程数が大幅に削減でき、生産性の観点から有利となる。

#### (実施例)

以下、本発明の好適な実施例について、図面を参照しながら説明する。

#### 実施例 1

本実施例は、シリコン・トレンチ・エッチングを第1の発明を適用して行った例である。これを第1図(A)および第1図(B)を参照しながら説明する。

まず、単結晶シリコン基板(1)上にたとえばノボラック系フォトレジスト(大日本インキ社製、商品名DPR 2600)を塗布することによりマスクとなるフォトレジスト層(2)を形成し、パターンニングにより第1図(A)に示すようにパターン幅の広い第1の開口部(2a)とパターン幅の狭い第2の

開口部(2b)とを形成した。

上記のエッチング反応においては、わずかながら側壁保護膜(図示せず。)の形成が見られたが、これは使用したエッチングガスにより気相中から生成した化合物の他、HBrとフォトレジスト材料との反応生成物も含むものである。しかし、これらは異方性形状を劣化させるほどの量には生成されない。また、パターン幅の狭い第2のトレンチ(3b)内においては、主としてHBrとフォトレジスト材料との反応生成物が効果的に付着して十分な側壁保護効果が発揮される結果、ボウイング等の形状異常を生じることはなかった。

なお、水素原子を含まないフルオロカーボン系ガスとしては上述の $C_2H_4$ 以外にも、 $CF_4$ 、 $C_2F_6$ 、 $C_3F_8$ 等が使用できる。さらに、エッチングガス系に希釈ガスを適宜添加しても良い。

#### 実施例 2

本実施例は、シリコン・トレンチ・エッチングを第2の発明を適用して行った例である。これを

開口部(2b)とを形成した。

次に、上記フォトレジスト層(2)をマスクとして単結晶シリコン基板(1)のエッチングを行った。このエッチングは、高周波バイアス印加型ECR(電子サイクロトロン共鳴)プラズマ・エッチング装置を使用して行い、その条件はたとえばHBr流量9SCCM、 $C_2F_6$ 流量11SCCM、ガス圧10mTorr、マイクロ波パワー850W、高周波バイアス100Wとした。このエッチングでは、質量の大きいBr<sup>+</sup>および $C_2F_5^+$ を主なエッチング種とするイオン支援反応により、第1図(B)に示すように、第1の開口部(2a)に対応して第1のトレンチ(3a)が、また第2の開口部(2b)に対応して第2のトレンチ(3b)がそれぞれ良好な異方性形状にて形成された。

ここで、各トレンチ(3a)、(3b)の深さは形成するデバイスの種類により異なるが、メモリ用の素子分離領域を形成する場合にはおおよそ0.5~1 $\mu m$ 、バイポーラ・トランジスタ用の素子分離領域およびメモリ用のキャパシタを形成する場合には3~4 $\mu m$ とされる。本発明を適用すれば、い

第2図を参照しながら説明する。なお、この図面において、第1図(A)もしくは第1図(B)と共通の部分については同一の番号を付す。

まず、第2図に示すように、実施例1と同様にして単結晶シリコン基板(1)上に第1の開口部(2a)と第2の開口部(2b)とを有するフォトレジスト層(2)を形成した。続いて、上記開口部(2a)、(2b)を通じてイオン注入により酸素を導入し、被エッチング領域を高酸素濃度領域(1a)、(1b)とした。上記高酸素濃度領域(1a)、(1b)における酸素濃度はたとえば $10^{18}/cm^3$ 程度とし、注入深さは形成すべきトレンチの深さと同等とした。

次に、上記フォトレジスト層(2)をマスクとするエッチングを行った。エッチングは、高周波バイアス印加型ECRプラズマ・エッチング装置を使用して行い、その条件はたとえば $C_2Cl_2F_6$ (フロン113)流量63SCCM、SF<sub>6</sub>流量7SCCM、ガス圧10mTorr、マイクロ波パワー850W、高周波バイアス100Wとした。これにより、前述の第1図(B)に示した状態と同様、第1のトレンチ

(3a)および第2のトレンチ(3b)が良好な異方性形状をもって形成された。

ところで、上記のエッチングガス系は有機系(カーボン系)の側壁保護膜を形成し得るガス系として公知であり、 $\text{SF}_6$ が主としてエッチングに寄与し、 $\text{C}_2\text{Cl}_2\text{F}_2$ が堆積に寄与するものであるが、従来では気相中における堆積性物質の過剰な生成が問題とされてきた。しかし、本発明によれば、被エッチング領域である高酸素濃度領域(1a),(1b)からエッチングの進行と共に大量に酸素が放出され、これにより側壁保護膜が $\text{CO}$ もしくは $\text{CO}_2$ の形で分解除去されるため、過剰な堆積が生じない。この効果は特に、パターン幅が広く、より多くの酸素が放出される第1のトレンチ(3a)において顕著であり、パターン幅の狭い第2のトレンチ(3b)とほぼ同一の断面形状を有するトレンチを形成することができた。

なお、主エッチング種を供給するガスとしては上述の $\text{SF}_6$ 以外にも $\text{NF}_3$ 、 $\text{C}_2\text{F}_4$ 等を使用することができ、堆積性のガスとしては上述の $\text{C}_2$

$\text{Cl}_2\text{F}_2$ の他にも $\text{CCl}_4$ 、 $\text{C}_2\text{Cl}_2\text{F}_2$  (フロン114)、 $\text{C}_2\text{Br}_2\text{F}_2$ 等、もしくはこれらに水素ガスを添加したものが使用できる。さらに、本実施例のエッチングガスには、希釈ガスが適宜添加されていても良い。

#### (発明の効果)

以上の説明からも明らかなように、本発明を適用すれば、主としてパターン幅の広いトレンチにおいて側壁保護膜の過剰な形成が効果的に抑制されるため、シリコン・トレンチ・エッチングにおいてパターン幅の大小に係わらず、良好な異方性形状が達成される。さらに、マスクとしてパターニングの容易なレジスト材料を使用することも可能となる。

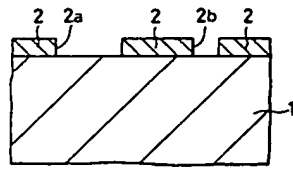
本発明をたとえばメモリ素子等の半導体装置の製造に適用すれば、高集積度、高性能を有する半導体装置が高い信頼性および生産性をもって提供できるようになる。

#### 4. 図面の簡単な説明

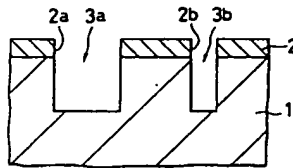
第1図(A)および第1図(B)は本発明の第1の発明をシリコン・トレンチ・エッチングに適用した一例をその工程順にしたがって示す概略断面図であり、第1図(A)はマスクパターンの形成工程、第1図(B)はエッチング工程をそれぞれ示す。第2図は本発明の第2の発明をシリコン・トレンチ・エッチングに適用した場合のマスクパターンの形成および酸素イオン注入工程を示す概略断面図である。第3図(A)および第3図(B)は従来のドライエッチング工程における問題を説明するための概略断面図であり、第3図(A)はマスクパターンの形成工程、第3図(B)はパターン幅の広いトレンチにおいて断面形状の異常が発生した状態をそれぞれ示す。第4図は従来のドライエッチング工程におけるさらに他の問題点としてパターン幅の狭いトレンチにおいて断面形状の異常が発生した状態を示す。

- 1 ... 単結晶シリコン基板
- 1a, 1b ... 高酸素濃度領域
- 2 ... フォトリソレジスト層
- 2a ... 第1の開孔部
- 2b ... 第2の開孔部
- 3a ... 第1のトレンチ
- 3b ... 第2のトレンチ

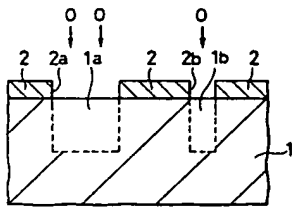
特許出願人	ソニー株式会社
代理人 弁理士	小池 晃
同	田村 榮一
同	佐藤 勝



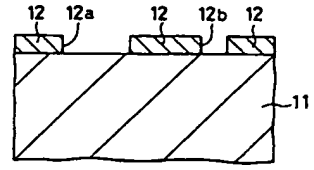
第 1 図(A)



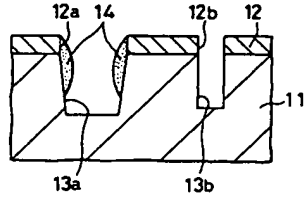
第 1 図 (B)



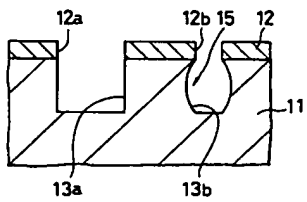
第 2 図



第 3 図(A)



第 3 図 (B)



第 4 図